

Entwicklung und Aufbau einer Elektrolarynx mit variabler Frequenz und integrierter Bluetooth-Funkschnittstelle für laryngektomierte und tracheotomierte Patienten

Dipl.-Ing. Tobias Müller, Dipl.-Ing. Hayattin Yilmaz, Prof. Dr.-Ing. Manfred Berroth, Universität Stuttgart, Institut für Elektrische und Optische Nachrichtentechnik, Pfaffenwaldring 47, 70 550 Stuttgart, Tel.: 0049 711 685 7920, mueller.tobias@tocam.de, yilmaz@int.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Eine Elektrolarynx ist eine Sprechhilfe für laryngektomierte und tracheotomierte Patienten, die beispielsweise durch Kehlkopfkrebs ihre Stimmbänder ganz oder teilweise verloren haben. Herkömmliche Geräte arbeiten mit einer monotonen fest eingestellten Frequenz, die nur von einem Arzt neu eingestellt werden kann. Die Stimme klingt daher sehr „roboterhaft“, da es dem Patient nicht möglich ist, mit seiner Stimmfrequenz dem Satzbau zu folgen. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden neue Konzepte und Methoden entwickelt die Sprachqualität, insbesondere die Intonation zu verbessern. Mit dem Einsatz eines resistiven Folien-Drucksensors (FSR) in Verbindung mit einer Mikrocontrollerschaltung und einer Bluetooth-Kommunikationseinheit wurde ein Prototyp aufgebaut, der im Bereich der elektronischen Sprechhilfen einen großen Vorschnitt darstellt. Neben den neuen Möglichkeiten der Sprachgestaltung ist das Gerät um ein vielfaches komfortabler auf den jeweiligen Patienten einstellbar und kann darüber hinaus auch vom Patienten selbst konfiguriert werden.

1 Einleitung

Jedes Jahr erkranken ca. 5.000 Menschen an Kehlkopfkrebs allein in Deutschland, drei Viertel davon sind Männer im Alter zwischen 40 und 60 Jahren. Jedoch sind in den letzten Jahren immer mehr jüngere Menschen davon betroffen. Die häufigste Ursache für die Entstehung von Kehlkopfkrebs sind Giftstoffe, die eingeatmet werden. Dabei ist das Zigarettenrauchen der bei weitem häufigste Auslöser [1].

Nach dem Verlust des Kehlkopfes müssen die Patienten neue Wege lernen, um wieder sprechen zu können. Dabei ist die Verwendung der Elektrolarynx eine vielfach eingesetzte Methode der Stimmerzeugung. Nach einer Umfrage unter Logopäden wird die Elektrolarynx immer mehr durch handfreie Methoden der Stimmerzeugung verdrängt. Allerdings wird sie nach wie vor für den Zeitraum direkt nach der Operation eingesetzt, da hier alternative Sprachmethoden und Implantate noch nicht angewendet werden können. Weiterhin können schwierige Sprachmethoden, wie z.B. die Ruktusstimme, nicht von allen Patienten erlernt werden. Auch in ärmeren Ländern, in denen Implantate zu teuer sind, erschließt sich für die Elektrolarynx ein großer Markt.

Die elektronische Sprechhilfe besitzt eine vibrierende Membran, die auf den Hals aufgesetzt wird. Wie in **Bild 1** zu sehen, bringt das Gerät Schwingungen von außen in den Rachen. Die entstehenden Töne können im Mund moduliert werden. Dabei wird - wie vorher bei der natürlichen Stimme - der Mund, die Lippen

und die Zunge bewegt. Das Erlernen bedarf etwas Übung für eine verständliche Sprache. [2].

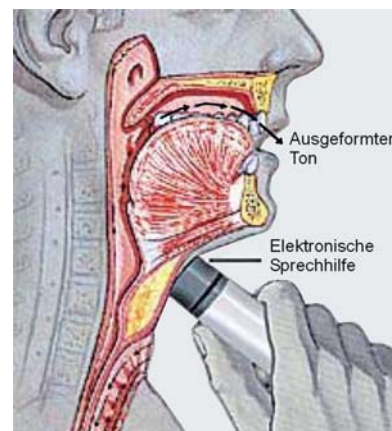


Bild 1 Stimmerzeugung mit der Elektrolarynx [3].

2 Stand der Technik

Herkömmliche Geräte arbeiten mit einer monotonen, fest im Gerät eingestellten Frequenz, die nur von einem Arzt neu eingestellt werden kann. Dem Patient ist es daher nicht möglich, mit seiner Stimmfrequenz dem Satzbau zu folgen. Die Stimme klingt sehr eintönig und „roboterhaft“. Eine andere Lösung sieht einen zweiten Taster als Betonungstaste vor. Durch betätigen dieses Tasters, wird eine etwas höhere Frequenz erzeugt [4]. Die Umfrage unter Logopäden hat aber gezeigt, dass sehr viele Patienten Schwierigkeiten mit dem Umgang der zweiten Betonungstaste

haben, und diese daher kaum verwenden. Die Prosodie des Menschen lässt sich nur sehr schwer in zwei räumlich getrennte Taster übertragen.

3 Die neu entwickelte Elektrolarynx

Aus den vorhergehend genannten Nachteilen heraus wurde eine „Tasterlösung“ als ungeeignet erachtet. Aus diesem Grund wurde der Taster durch einen resistiven Folien-Drucksensor (FSR) ersetzt [5]. Hierdurch ist es möglich, durch Variation des Drucks auf den Sensor, die erzeugte Sprechfrequenz stufenlos dem Satzbau anzupassen. Erst jetzt ist es mit der neuen Elektrolarynx dem Patient möglich, einen mit der Tonhöhe dynamischen Satz zu sprechen. Die Umsetzung der Sprachgestaltung in einen auf einen Sensor ausgeübten Druck ist dabei sehr viel intuitiver und sehr viel leichter als die Umsetzung in zwei räumliche Taster. Auch wenn die Umsetzung anfänglich noch nicht perfekt beherrscht wird, so ist in der Stimmfrequenz durch den automatisch leicht variierenden Druck auf den Sensor immer eine „Bewegung“, die unbewusst als sehr viel natürlicher wahrgenommen wird, wie eine absolut konstante Frequenz. Absolut konstante Frequenzen werden vom menschlichen Gehör unbewusst als unnatürlich und fremd empfunden. Mit dem Hinzufügen eines weiteren Programmtasters entstand zusätzlich die Möglichkeit, die fest im Gerät eingestellten Frequenzen ohne Hilfsmittel neu zu programmieren. Hierfür wird die gewünschte Frequenz über den Druck auf den Sensor erzeugt und mit einem kurzen Betätigen des Programmtasters in das Gerät übernommen. So ist es dem Patient möglich, seine Elektrolarynx ohne den Besuch eines Arztes und ohne das Öffnen des Gerätes neu zu konfigurieren.

Um eine Feinjustierung weiterer Parameter, wie z.B. die Druck-Frequenz-Kennlinie des Sensors oder den durch den Sensor erzeugbaren Frequenzbereich zu ermöglichen, wurde die neue Elektrolarynx um eine Bluetooth-Funktionalität erweitert. In Kombination mit einer anwenderfreundlichen und einfach zu bedienenden Konfigurationssoftware für den PC, die ebenfalls Teil dieser Diplomarbeit ist, können nicht nur durch den Logopäden, sondern auch durch den Patient zahlreiche weitere Einstellungen vorgenommen werden. Als zusätzliche Funktion ist in der Konfigurationssoftware eine Fernsteuerung enthalten. Das Einstellen der Elektrolarynx auf einen neuen Patienten war bisher ein langwieriger Prozess. Hierfür musste bisher das Gerät geöffnet, die neue Frequenz eingestellt, und anschließend getestet werden. Dieser Vorgang musste solange wiederholt werden, bis eine geeignete Frequenz gefunden wurde, die im Rachenraum des Patienten eine Resonanz erzeugt, die ja erst das Sprechen ermöglicht. Dieser langwieriger Prozess

wird nun durch die Fernsteuerungsfunktion der Konfigurationssoftware sehr beschleunigt. Die Fernsteuerung deaktiviert die geräteeigenen Sensoren und erzeugt in der Elektrolarynx eine Vibration vorgegebener Lautstärke und Frequenz. So kann der gesamte Frequenzbereich abgefahren und die gewünschte Frequenz schnell gefunden werden. Durch die modulatorientierte Bauweise der Elektronik kann die Bluetooth-Funktionalität eingespart und die Konfiguration direkt über ein Kabel vorgenommen werden. So können auch kostengünstigere Geräte hergestellt werden. **Bild 2** zeigt die neue Elektrolarynx.



Bild 2 Die neu entwickelte Elektrolarynx.

3.1 Komponenten

Die neue Elektrolarynx besteht im Wesentlichen aus den fünf in **Bild 3** dargestellten Komponenten. Die Hardware der Larynx ist dabei in die zwei Komponenten Hauptplatine und Bluetooth-Modul unterteilt. Während in der Hauptplatine die gesamte Funktionalität für den Normalbetrieb implementiert ist, dient das Bluetooth-Modul als Kabelersatz. Es ist dabei vollkommen eigenständig und hat die Aufgabe, eine serielle Verbindung zu emulieren. Für die Hauptplatine ist es dabei vollkommen transparent, das bedeutet, es macht für den Mikrocontroller der Hauptplatine keinen Unterschied, ob er direkt mit einem Kabel oder über das Bluetooth-Modul mit dem PC kommuniziert. Das Bluetooth-Modul ist dadurch optional und kann, wie schon erwähnt, für eine kostengünstigere Lösung eingespart werden. Die

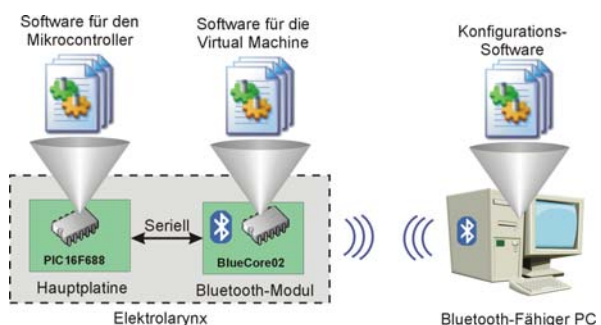


Bild 3 Die Komponenten der Elektrolarynx.

Konfigurations-Software stellt die Gegenstelle der Kommunikation dar. Ihre Aufgabe ist es, eine Kommunikation mit der Larynx herzustellen, so dass diese konfiguriert werden kann. Auch für die Konfigurationssoftware ist das Bluetooth-Modul transparent, da das Bluetooth-Modul auch auf der PC-Seite eine serielle Schnittstelle emuliert und es somit keinen Unterschied macht, ob hinter dieser emulierten Schnittstelle nun eine Kabel- oder Bluetooth-Verbindung steckt. Diese Organisation der Kommunikation ermöglicht ein Maximum an Portabilität, da die Installation eines Bluetooth-Gerätes und das anschließende Einrichten der verfügbaren Dienste, im Fall der Elektrolarynx die Emulation einer seriellen Schnittstelle, zu den Aufgaben des jeweiligen Betriebssystems gehört und durch die Bluetooth-Spezifikation genau vorgeschrieben ist. Weiterhin ist die Konfigurationssoftware in Java implementiert, so dass ein Betrieb unter Linux genauso möglich ist wie unter Windows 95, 98, NT, XP und 2000. Auch der Betrieb in einem PDA ist mit geringen Modifikationen der grafischen Benutzeroberfläche möglich, da auch hier Bluetooth und die Java Virtual Machine unterstützt werden.

3.2 Funktionsweise der Elektrolarynx

Das Blockschaltbild in **Bild 4** zeigt den Schematischen Aufbau der Elektrolarynx. Das Herzstück ist der Mikrocontroller PIC16F688 von Microchip. Zu den Bedienelementen zählen ein Drucksensor, ein Lautstärkeregel sowie ein Drucktaster. Der Drucksensor ist als Force Sensitive Resistor (FSR) ausgeführt. Ein FSR ist ein folienförmiger druckabhängiger Widerstand auf der Basis von polymeren Halbleiterschichten. Dieser kostengünstige Widerstand besitzt noch eine geringe Verbreitung, wird zur Zeit aber hauptsächlich im Automobilsektor eingesetzt [5].

Aus den eingelesenen Sensorwerten errechnet die Software des Mikrocontrollers ein pulsweitenmoduliertes (PWM) Ausgangssignal, das über einen als Treiber verwendeten MOSFET die Magnetspule erregt. Über die Pulsweite wird die Stärke der erzeugten Vibration bestimmt. Die Realisierung mit einem PWM Ausgangssignal besitzt dabei die größte Energieeffizienz.

Der für ein batteriebetriebenes Gerät geforderte geringe Standbystrom wird durch das komplette Abschalten der Spannungsversorgung über den Shut-down Eingang des Reglers erreicht. Durch diese Schaltungsvariante konnte der Standbystrom auf 700 nA gesenkt werden. Wenn die Selbstentladung der

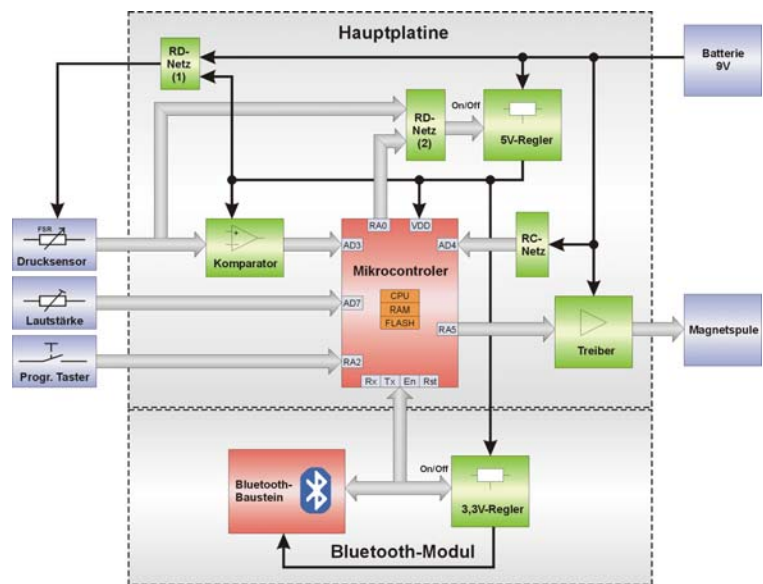


Bild 4 Das Blockschaltbild der neuen Elektrolarynx.

Batterie vernachlässigt wird, bedeutet das eine theoretische Standbyzeit von ca. 46 Jahren! Um eine Reaktivierung zu ermöglichen, wird der Drucksensor über ein Widerstands-Dioden-Netzwerk mit einer geringen Vorspannung versorgt. Bei Betätigen des Sensors wird diese Vorspannung über ein weiteres Widerstands-Dioden-Netzwerk an den Shut-down Eingang des Spannungsreglers weitergegeben, der wiederum die Spannungsversorgung bereitstellt. Der Regler wird anschließend über einen Mikrocontrollerausgang ähnlich dem Prinzip einer selbsthaltenden Relaischaltung aktiv gehalten, bis das Gerät wiederum in Standby gehen soll.

3.3 Kommunikation

Die neue Elektrolarynx verfügt über eine Vielzahl von Parametern, die eine individuelle Anpassung ermöglichen. Zu ihnen gehören z.B. einen eigenen Name für jedes Gerät, eine Druck-Frequenz-Kennlinie für den Sensor, die Tasterdruckzeiten für einen Betriebsmoduswechsel, die tiefste mögliche Frequenz, der programmierbare Frequenzbereich, der maximale Frequenzhub, die Glättung der Sensorwerte und noch einige mehr. Die Kommunikation mit dem Mikrocontroller wird hierfür über das Bluetooth-Modul ermöglicht. Das Bluetooth-Modul besteht überwiegend aus einem Miniatur-Bluetooth-Baustein von Mitsumi, der auf dem in diesem Segment weit verbreiteten integrierten Bluetooth-Chip BlueCore02 von CSR basiert. In diesem Baustein ist eine SMD-Antenne ebenfalls integriert. Zu den wenigen externen Bauteilen zählen ein Spannungsregler und verschiedene Kondensatoren für die Unterdrückung von Hochfrequenzstörungen. Das Bluetooth-Modul ist über einen kleinen Steckkontakt mit der Hauptplatine verbunden. Die Kommunikation mit dem

Modul verläuft auf serieller Basis. Wie bereits beschrieben, emuliert das Modul eine serielle Verbindung, die für den Mikrocontroller der Hauptplatine transparent ist. Weiterhin kann die Spannungsversorgung des Moduls separat deaktiviert werden, um z.B. bei einer niedrigen Batteriespannung zusätzlich Strom einzusparen. Auch ein Reset des Moduls ist über eine zusätzliche Leitung möglich.

3.4 Aufbau des Prototyps

Die extrem geringen Platzverhältnisse machen eine doppelseitig bestückte SMD-Bauweise erforderlich. Die Schaltung ist dabei so konzipiert, dass der Mikrocontroller auch nachträglich im eingelöteten Zustand programmiert werden kann. Für mikrocontrollergesteuerte Geräte ist das eine gängige Praxis, um auch Softwareänderungen während der Produktion kostengünstig zu ermöglichen. **Bild 5** zeigt die bereits im hinteren Gehäuseteil montierte Elektronik. Die engen Platzverhältnisse lassen sich hier erahnen.

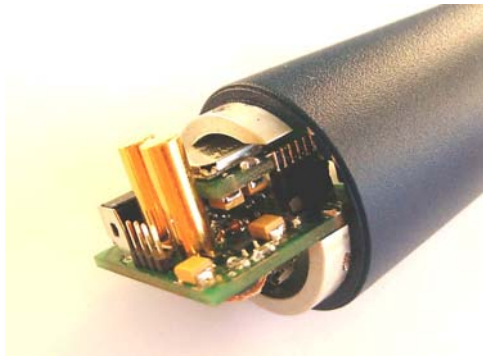


Bild 5 Die halb montierte Elektronik.

3.5 Software

An die Software des Mikrocontrollers der Hauptplatine wurden die größten Anforderungen gestellt. Ein zeitlich absolutes Ausgangssignal ist die Voraussetzung um einen „reinen“ Klang zu erzeugen. Der Struktur wird im Wesentlichen durch vier nebenläufige Prozesse unterschiedlicher Priorität und Intervallzeiten bestimmt, wobei jedem Prozess eine eigenständige Aufgabe zukommt. Um den Echtzeitanforderungen des Systems gerecht zu werden, wurde für den Prozess mit der höchsten Priorität, der auch für die Signalerzeugung zuständig ist, eine asynchrone Programmierung mit preemptiven Rate-Monotonic-Scheduling gewählt. Die drei Prozesse mittlerer Priorität sind aufgrund der Mikrocontrollerarchitektur nach einem dynamischen nicht-preemptiven Scheduling organisiert.

Die Software des Bluetooth-Moduls wurde mit Hilfe einer speziellen Firmware von CSR realisiert. Normalerweise sind die für die Bluetooth-Kommunikation notwendigen Protokolle nur teilweise im Blue-

tooth-Chip selbst implementiert. Alle höheren Protokollschichten müssen im Hostsystem implementiert werden. Im Fall der Elektrolarynx ist dies aber wegen der zu geringen Mikrocontrollerkapazität nicht möglich, so dass eine Firmware gewählt wurde, in der einige höhere Protokolle ebenfalls im Bluetooth-Chip implementiert sind. Zusätzlich steht hier noch eine Virtual Machine für zusätzlichen Programmcode zur Verfügung. In diese Virtual Machine wurde die Funktionalität der emulierten seriellen Übertragung unter Verwendung des RFCOMM-Protokolls und dem in der Bluetooth-Spezifikation vorgesehenen Serial Port Profile (SPP) implementiert. Die Verwendung des Service Discovery Protokolls (SDP) erlaubt das automatische Finden und anschließende Einrichten der verfügbaren Dienste auf dem Betriebssystem durch den PC.

4 Zusammenfassung

Die neue Elektrolarynx muss in der Praxiserprobung zeigen, wie die Funktionen von den Patienten akzeptiert werden und welche Veränderungen noch durchgeführt werden müssen. Nach Abschluss der Erprobungsphase ist eine Serienproduktion vorgesehen. Schon bei der Entwicklung wurde auf die Auswahl kostengünstiger Komponenten Wert gelegt, so dass die neue Elektrolarynx mit den auf den Markt befindlichen Geräten konkurrieren kann.

Die neue Elektrolarynx ist eine Entwicklung direkt für den Menschen. Sie hilft den Betroffenen, ihre Aussprache und damit die zwischenmenschliche Kommunikation zu verbessern und trägt damit für eine bessere Lebensqualität aller dieser Menschen bei.

5 Literatur

- [1] Krankheiten von A bis Z: Kehlkopfkrebs. Homepage der Techniker Krankenkasse, <http://www.tk-online.de/centaurus/generator/tk-online.de/tk-online.de.html>
- [2] Der Weg zur neuen Stimme, http://www.kehlkopfloosenbundesverband.de/die_stimme.htm
- [3] Schwingende Luft im Mund ersetzt die Stimme, Ärzte Zeitung, 04/2002
- [4] <http://www.servox.de/F12381.htm>
- [5] IEE FSR™-Sensoren, ELECTRADE GmbH
- [6] „Entwicklung und Aufbau einer Elektrolarynx mit variabler Frequenz und integrierter Bluetooth – Funkschnittstelle für laryngektomierte und tracheotomierte Patienten“, Diplomarbeit, Dipl.-Ing. Tobias Müller, Universität Stuttgart Institut für Elektrische und Optische Nachrichtentechnik, 2005.